

シリコンにおける不純物拡散

著者	佐々木 義智
号	126
発行年	1967
URL	http://hdl.handle.net/10097/8862

氏 名 (本 籍)	佐々木 義 智 (秋田県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 1 2 6 号
学 位 授 与 年 月 日	昭和 4 3 年 3 月 6 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研 究 科 専 門 課 程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	シリコンにおける不純物拡散
(主 査)	
論 文 審 査 委 員	教授 西沢 潤一 教 授 和田 正信 教授 吉田 重知 助教授 宮本 信雄

論 文 内 容 要 旨

序 文

半導体に不純物原子を拡散せしめて P 形や n 形の部分を作る技術は現在の半導体工業上最も大切な技術の一つである。よってどのような条件の下でどのような処理をすれば表面濃度はいかほどで拡散層の厚みはいくらになるかというような事が事前に求められる事は重要性が大きい。本実験では真空中に置いた Si と In とを 2 ゾーンの炉によって夫々所定の温度まで加熱し、蒸発した In の気体を Si の周囲に送り込んで Si に In を拡散せしめるという方法によって In の気体分子密度と Si に入った In の量との関係を調べたものである。即ち、不純物の表面濃度と蒸気圧との関連性を調べ、表面濃度を制御する基礎にしようとするものである。

第一章 拡散の基本事項

この章は固体中への不純物の拡散，特に半導体中へのそれに関する研究の現在までの進歩について述べたものである。

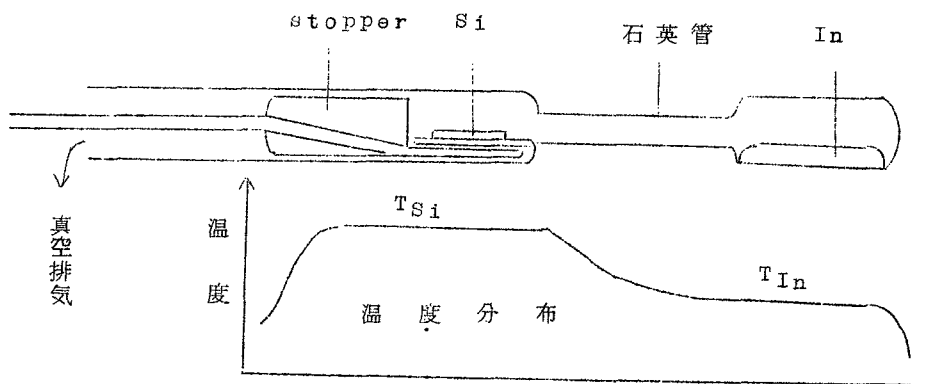
第二章 実験の原理及び拡散の方法

実験装置の概略図を第1図に示す。Si 及び In が夫々所定の温度で加熱され，系が平衡に達したときには，ストッパーの隙間から流出する量が無視した場合，Si ゾーンと In ゾーンにおける In の気体分子密度と温度との間には $n_{Si} \sqrt{T_{Si}} = n_{In} \sqrt{T_{In}}$ なる関係が成立する。 n_{In} を In の蒸気圧 P_{In} と T_{In} によって表わす事により n_{Si} は次の様に表わされる。

$$n_{Si} = P_{In} / k \sqrt{T_{Si} \cdot T_{In}} \quad (1)$$

k はボルツマン定数

ここで P_{In} は T_{In} によって定まるから， n_{In} は温度のみで制御しうる事になり， n_{Si} を変化せしめたとき表面濃度がどの様な影響をうけるかを調べる事ができる。



第1図 拡散装置の概略図

第三章 拡散された試料の各種測定について

この章では表面濃度及び拡散係数を求める方法として容量法，層抵抗法，非破壊法の三つを比較して述べてある。容量法というのは $p-n$ 接合部分での不純物の濃度勾配と $p-n$ 接合の深さを求め，不純物分布の形を仮定して表面濃度を推定するという方法をとるものである。濃度勾配

は空乏層容量から求められ、普通は直線傾斜形接合近似を用いるが、拡散長 \sqrt{Dt} に比べて空乏層幅が大きくなる様な浅い拡散の場合にはこの近似が使えなくなる。ここではより近似の良い指数関数近似を用いて求める方法について述べてある。実用上は簡単に表面濃度や拡散係数が求まるようにチャートを作っておいた。

第四章 誤差関数の指数関数近似

大部分の拡散方法に於て、拡散層の不純物分布は理論的には誤差関数型になる事が多い。誤差関数は数式的に計算の難解な関数であるので拡散層の解析にはこれとよく似た指数関数を使って計算すると都合の良い事が多い。拡散層の不純物分布は

$$N(x) = N_s \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (2)$$

で与えられる。この式の必要な領域でもっとも良い近似式をうる様に(3)式に接する指数関数を求めればそれは次の式によって与えられる。

$$N(x) \cong m N_s \exp\left(-\frac{x}{n\sqrt{Dt}}\right) \quad (3)$$

ここで m, n は次式で示される定数である。

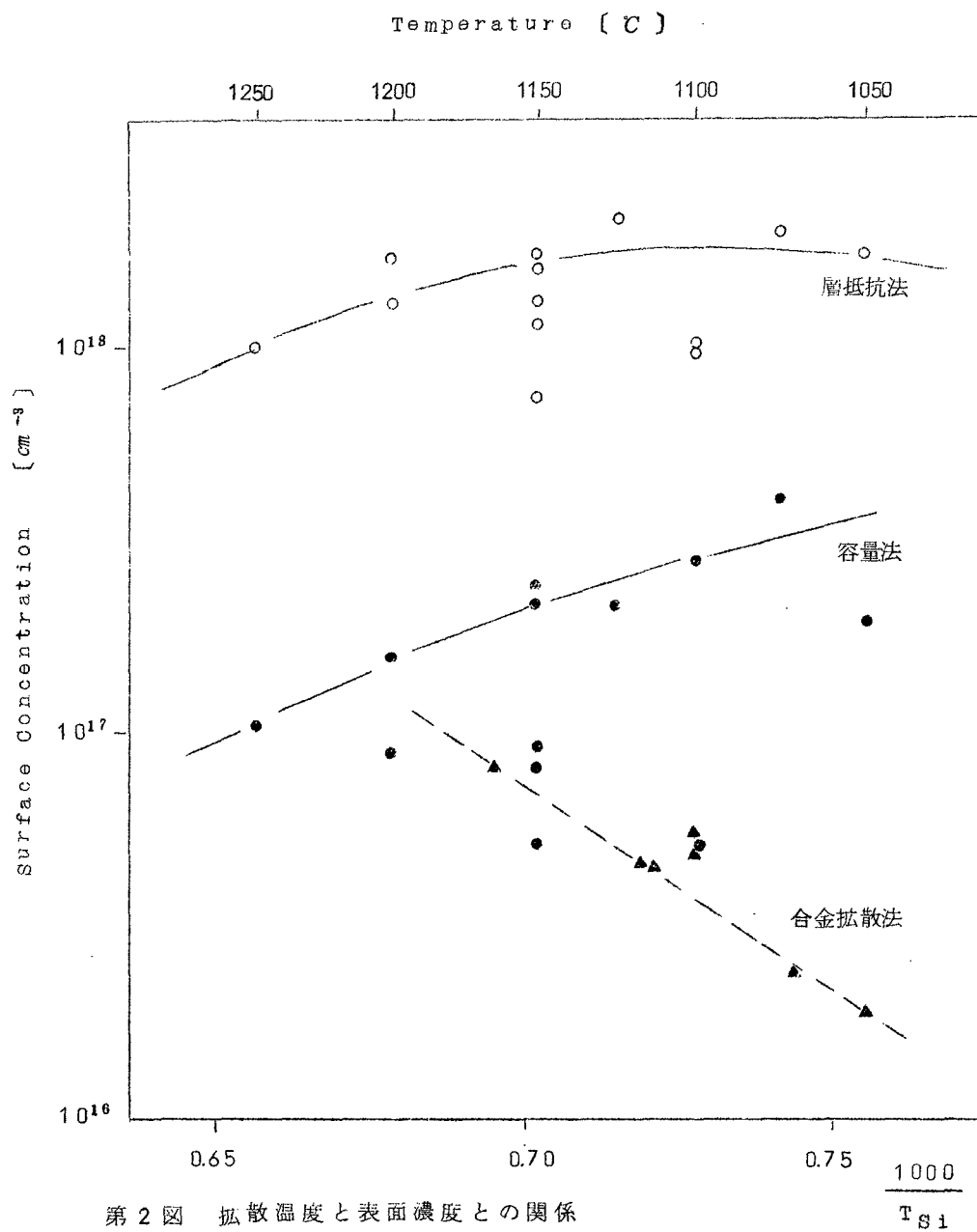
$$m = e^{-\frac{x_j}{n\sqrt{Dt}}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x_j}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (4)$$

$$n = \sqrt{\pi} e^{-\frac{x_j^2}{4Dt}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x_j}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (5)$$

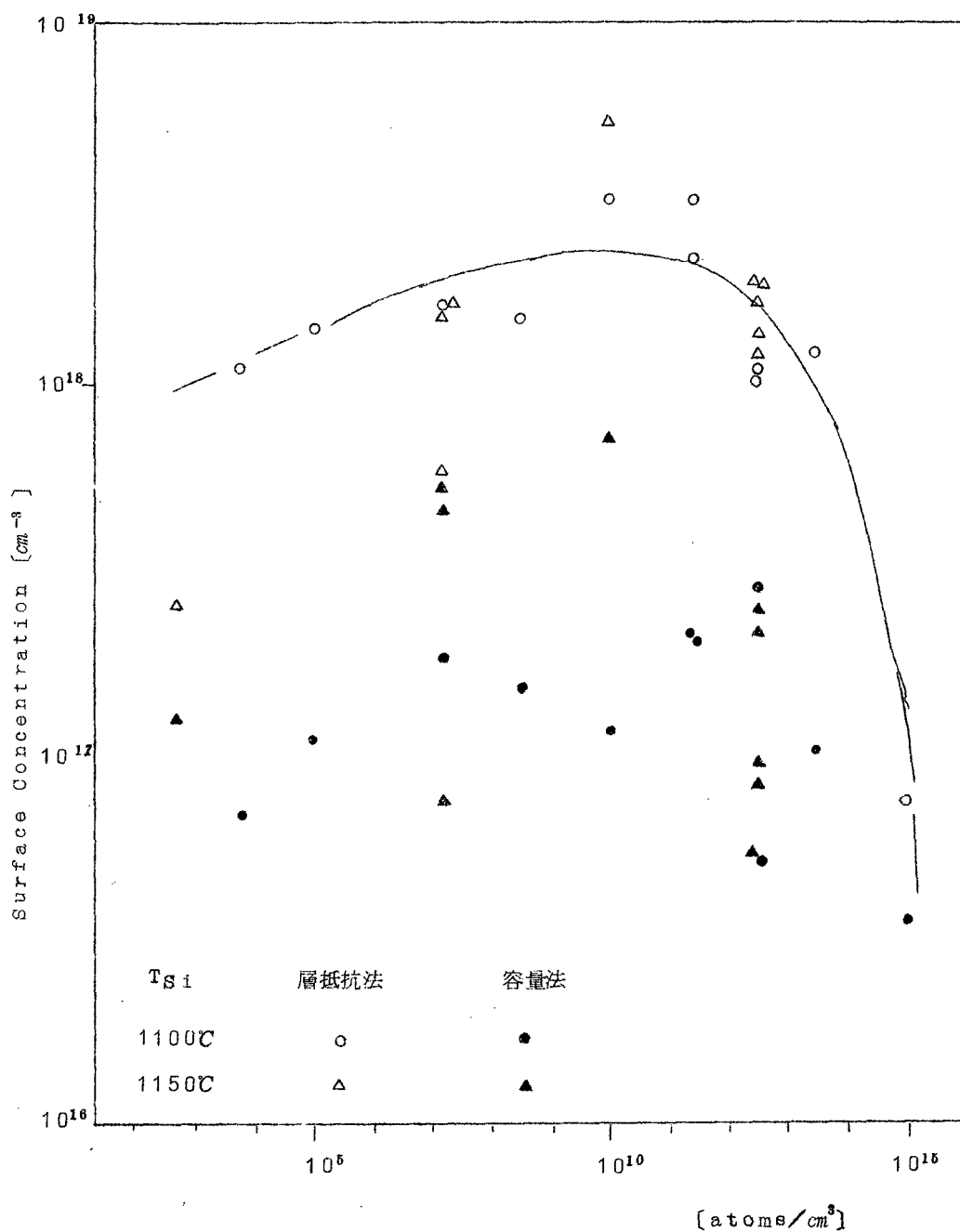
これらの式で x_j は近似した領域の中央の位置を表わす。例えばpn接合の解析には、 x_j として接合の深さをとれば良い。これらの関係を実際に使用するに便利な様に諸量の数値表及び計算図表を作成し示してある。

第五章 実験結果の説明及び検討

SiにInを拡散した結果得られた表面濃度と拡散濃度との関係を第2図に、又、表面濃度と気体分子密度との関係を第3図に示した。図に示す如く、容量法と層抵抗法では値が異って得られた為に母材の不純物濃度の異なるSiに拡散を行ったり拡散時間を変えたりバイアス電圧に変化を与えたりというような事を行って測定法に検討を加え、又測定誤差についても検討を加えているがこの原因についてははっきりしなかった。又実験の初期に於てはかなり再現性が無かった



第 2 図 拡散温度と表面濃度との関係



第3図 In の気体分子密度と表面濃度との関係

ので、変動の原因を調べる為に同一条件で実験を繰返し、途中で条件の一部にわずかな変化を与えたときに測定値はどの様に変動するかを調べて見た。測定値の変動は、In を新しくしたり stopper を小さくしたり Si の面積を大きくしたりといった系の状態の変化によっても生じたが、その全てのファクターを完全におさえるまでにはいたってない。拡散層を表面から少しずつ取り去りながら層抵抗の変化を測定し、不純物の濃度分布を測定すると必ずしも erf c 型の分布をとるとは限らず、特に表面近くに多量の欠陥をつくっておいた Si では違いが多く出る事を示した。In の拡散や単なる熱処理をうけた Si の表面には蒸発によると思われる凹凸が出来るが、これらの様子をも観察した。又単に熱処理を行った Si の表面には P 形の層が形成される。多分熱処理に用いた石英管から出てくる不純物の影響や残留ガスなどの影響と思われる。最後に Si に In を合金したときの再結晶層が n 形になる事を利用して Si に In を合金拡散すると超階段形接合が出来るので、空乏層容量の電圧依存性を調べると拡散層の表面濃度に相当する値が求められる。これらの値を前の第 2 図に合せて示してある。この場合、Si の上には液体状の In が存在するのであり、その供給は充分に行なわれると考えられるにもかかわらず表面濃度は気相からの拡散に比べて小さくなっている。

第六章 討 論

層抵抗法と容量法という様な測定法によって得られる値に違いが出る事の原因は不純物分布が erf c 型からはずれてしまう事もその一つであるが、これだけでは全てを説明出来ない。erf c 分布からはずれる原因としては P や B を高濃度に拡散した場合と同様に転位等の発生が考えられた為に X 線ラング法により調べて見たが特に変化は認められなかった。

第七章 結 論

まず誤差関数を指数関数で近似する方法を考えその有用性を示した。次に In の気体分子密度を変えて拡散を行ったときの表面濃度を求め、両者の関係を明らかにした。表面濃度は測定法によって異なる値が得られる事が分ったが、その原因究明は今後の課題として残った。不純物分布は erf c 分布からはずれる事があり、結晶の不完全性も一つの原因となっている。

審 査 結 果 の 要 旨

シリコンへの不純物の拡散は現在の半導体工業の基礎をなす重要技術であるが、表面密度と蒸気圧との関係が明らかでなく、専ら経験的に各々の装置について条件を設定しているにすぎない。本論文はシリコンへのインジウムの拡散について、この関係を求め、測定法による結果の差異、再現性を損う諸現象についての観察結果と考察をのべたものである。

本論文は7章よりなる。第1章ではシリコンとゲルマニウムに対する不純物拡散に関する従来の成果について略述し、第2章は、本論文で使用了た不純物蒸気圧を制御する装置及び試料についてのべたものである。

第3章には、半導体結晶に不純物を拡散してpn接合を形成し、その電気的特性を測定して不純物の表面密度と拡散係数とを求める方法についてのべ、第4章では誤差関数を指数関数で近似することにより著しく容易に不純物の表面密度と拡散係数とが求まることを示し、その誤差について論じている。

本論文の主体をなす第5章は、シリコン温度によるインジウム表面密度の変化と拡散係数、インジウム気体密度とインジウム表面密度との関係を求めたものである。更にこれらの関係が、測定法により変ること、拡散の際の極めて設定し難い条件の変化によって著しく違ふことからその原因について追求を行っている。

すなわち、測定法による差異はシリコン中に拡散したインジウムの密度分布が補誤差関数と可成りずれていることが主な原因であることを表面を極く薄く取り去りながら、層抵抗の変化を測定する方法で確かめており、更に結晶表面近くの格子の不整が大きな原因であるとして二三の実験を行っている。

次に実験結果の再現性を近くしている原因として、残留酸素による表面の酸化と蒸発、インジウム蒸気圧の設定の不完全さ、拡散操作と同時にうける熱処理によるシリコン母材の抵抗率の変化、拡散するときの石英容器のインジウムによる汚染などがあることをのべ、各々、実験と考察によってたしかめている。

第6章では前章までの結果をまとめて討論し、且X線ラング写真によって確かめている。第7章は結論である。

以上、本論文は、基礎的には重要であるが、実験が困難で明らかでなかったインジウム蒸気をシリコンへ拡散させる実験を行い、従来知られていなかったインジウム蒸気圧とシリコンへ固溶する表面密度をはじめて測定し、安定な拡散を行うための基礎を明かにしたもので、半導体工学に新しい知見を加えたものである。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。